

トマト水耕栽培における種々の培養液条件下での リンの昼夜間吸収

寺 林 敏・滝 井 謙・稲 田 貴 子
田 中 正 彦・並 木 隆 和

Phosphate uptake during the day and the night
by tomato grown in water-culture
under various conditions of culture solution.

SATOSHI TERABAYASHI, KEN TAKII, TAKAKO INADA
MASAHIKO TANAKA and TAKAKAZU NAMIKI

要旨：水耕トマトにおけるリンの昼夜間吸収を種々の培養液条件のもとで測定し、リンの吸収特性を調査した。

園試処方¹⁾の培養液濃度が25%, 50%, 100%と高くなるにしたがい、リン吸収量が増加した。リンの夜間吸収率（1日の吸収量に対する夜間吸収量の比）は25%濃度でいちばん低く、50%濃度でいちばん高い値を示した。

園試処方50%濃度液を基本に、リン濃度のみ変化させた場合、リン濃度が高いほどリンの夜間吸収率は低下した。この傾向はカルシウムにおいても認められた。

リン酸塩の単独施与、培養液への塩化ナトリウムの添加、多価陽イオンの共存等の処理によってリン吸収量に増減が生じても、リンの夜間吸収率の変化はわずかであった。

以上の実験から、リンは他の養分に比べ、高い割合で夜間に吸収されることが確認された。リンの夜間吸収率は培養液内のリン濃度に影響され、リン濃度以外の培養液条件では、水分吸収量やリン吸収量に変化しても容易に変動しないことがわかった。

結 言

水耕栽培したトマトでは、栽培時期や生育段階の違いに関わらず、リンの1日の全吸収量に対する夜間の吸収量の割合が、水分や他の養分と比較して大きいことを見いだした（寺林ら、1984）。しかし、リンがなぜ水分吸収量の少ない夜間においても盛んに吸収されるのか明らかでない。培養液からの養分の吸収は、

培養液の組成、濃度等、種々の培養液条件に強く左右され、しかも個々の養分でその反応も異なる。

本研究では、リンの昼夜間吸収を培養液濃度及び組成など、リン吸収条件の異なる種々の条件で測定し、リンの高い夜間吸収の現象を検証すると共に、他の養分との比較を行い、リンの昼間と夜間の吸収様相からみた、リンの吸収特性を明らかにすることを目的に実験を行った。

材料及び方法

実験1. 培養液濃度とリンの昼夜間吸収

供試品種は「大型福寿」とし、以下すべての実験においても同品種を用いた。クボタ式果菜用水耕ベッドで水耕育苗した第1花房開花期の植物体を園試処方培養液（100%濃度液）、同2分の1濃度液（50%濃度液）、同4分の1濃度液（25%濃度液）に移し、3日間の養水分の昼間及び夜間の吸収量を測定した。容積25ℓの栽培槽1ケースあたり4株とし、各区3反復とした。通気は小型エアポンプで行った。いずれの培養液も微量要素は園試処方の100%濃度とした。以下の実験も同様である。

実験2. リン濃度とリンの昼夜間吸収

第1花房開花期まで実験1と同様に育苗した。処理区はリン濃度0.5me/ℓ区、同2me/ℓ区、同8me/ℓ区で、他の多量要素濃度は園試処方50%濃度液と同じである。なお、リンとの比較のため、カルシウムについても同様の実験を行った。処理区はカルシウム濃度1me/ℓ区、同4me/ℓ区、16me/ℓ区である。容積25ℓの栽培槽1ケースあたり2株とし、各区3反復とした。

実験3. リン酸溶液からのリンの昼夜間吸収

実験1と同様に育苗し、第1花房開花期の植物体を供試した。処理区は園試処方50%濃度液区、リン酸一アンモニウム溶液区（園試処方のリン酸塩）、リン酸一ナトリウム溶液区である。いずれもリン濃度は2me/ℓである。測定期間は4日間とした。

実験4. 高濃度塩化ナトリウムを添加した培養液からのリンの昼夜間吸収

実験1と同様に育苗し、容積25ℓの栽培槽に1ケースあたり3株植えとし各区3反復とした。養水分の吸収を阻害する目的で、培養液に塩化ナトリウムを添加した。処理区は園試処方50%濃度液を基本の培養液とし、塩化ナトリウム0ppm区、同培養液に塩化ナトリウムを1000ppm、同じく塩化ナトリウムを2000ppm加えた区をもうけた。第2花房開花期に処理培養液に移し、4日間の昼夜間の養水分吸収量を測定した。

実験5. 流動培養液からのリンの昼夜間吸収

実験1と同様に育苗した株を育苗に用いた同型のベッドに1ベッドあたり6株の割合で定植し、各区3反復とした。培養液の通気は小型エアポンプで行った。9時から15時までの6時間を真昼、21時から朝の3時までの6時間を真夜中とした。各々の時間帯に培養液の更新を行った。培養液は園試処方50%濃度液を使用した。培養液を常時流動させ、養水分の吸収促進をはかった。培養液の循環はポンプを用い、毎分23ℓの流入速度で1時間あたり15分の割合で行った。培養液は

1ベッドあたり40ℓとした。培養液がベッドの幅全面に一様に流れるよう、ベッドの横方向（幅）に均等に4箇所の培養液流入口を設けた。測定期間は1日である。

実験6. 多価陽イオンによるリン吸収促進と昼夜間吸収

実験1と同様に育苗し、容積25ℓの培養槽に3株ずつ定植し、各区3反復とした。リン酸一アンモニウム溶液区、リン酸一アンモニウム溶液に1mMの硝酸カリウムを加えた+硝酸カリウム区、同様に1mMの硝酸カルシウムを加えた+硝酸カルシウム区の3区を設けた。リン濃度はいずれの区も2me/ℓとした。昼間と夜間の水分及びリンの吸収量を4日間測定した。

結 果

実験1

養水分の吸収量を第1表に示した。昼夜間合計の水分吸収量は培養液濃度が高いほど少なかった。リンの吸収量は昼間夜間とも培養液濃度が高いほど多かった。リン以外の養分については、各々の養分で培養液濃度の上昇にともなう吸収量の変化の様相が異なった。硝酸態窒素は25%濃度から50%濃度の間で、カリウムは50%濃度から100%濃度の間で吸収量の増加が認められたのに対し、カルシウムは培養液濃度の上昇に対する吸収量の増加の程度が小さく、マグネシウムでは培養液濃度が高いほど吸収量は少なかった。

養分の吸収濃度（水分吸収量あたりの養分吸収量）を第2表に示した。リンの夜間の吸収濃度は100%濃度液区が16.7me/ℓ、50%濃度液区が15.1me/ℓ、25%濃度液区が9.8me/ℓで、100%と50%濃度との間では、吸収濃度の差は小さかった。昼間のリン吸収濃度は25%濃度液区、50%濃度液区でそれぞれ施与濃度に近い値を示したのに対し、100%濃度液区では昼間のリン吸収濃度が2.1me/ℓと施与濃度の約半分の低い値を示した。100%濃度液区ではいずれの養分も1日の平均吸収濃度は施与濃度よりも低く、その程度はマグネシウムで大きく、リンがいちばん小さかった。

第3表に夜間吸収率を示した。水分の夜間吸収率は3つの区の間では差がなかった。リンの夜間吸収率は3つの区の間で一定した傾向を示さなかった。リン以外の養分の夜間吸収率は25%濃度区でいちばん高い値を示した。

実験2

水分とリンの吸収量、リン吸収濃度を第4表に示した。水分の吸収量はリン濃度の高い区で少なかった。しかし、水分の夜間吸収率は3つの区の間で差がなかった。昼夜間合計のリン吸収量は0.5me/ℓ区が9.9me、2.0me/ℓ区が18.1me、8me/ℓ区が28.1meであった。0.5me/ℓ区のリン吸収濃度は、昼間が1.1me/ℓ、

Table 1. Rate of nutrient and water uptake by tomato plants cultured in various concentrations of culture solution.

Strength of soln (%)	Time of absorption	Rate of uptake (water : 1 / 100g D.W. / 3 days) (nutrient : me / 100g D.W. / 3 days)					
		Water	NO ₃ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
25%	day	5.88	25.5	7.4	14.4	12.8	6.1
	night	0.48	11.4	4.7	5.9	5.6	2.9
	whole day	6.36	36.9	12.1	20.3	18.4	9.0
50%	day	5.57	35.1	9.3	15.1	14.6	5.2
	night	0.49	12.8	7.4	4.2	5.0	1.8
	whole day	6.06	47.9	16.7	19.3	19.6	7.0
100%	day	5.05	34.0	11.2	19.9	16.3	5.6
	night	0.45	12.3	8.1	5.1	5.0	0.5
	whole day	5.50	46.3	19.3	25.0	21.3	6.1

Table 2. Rate of nutrient to water absorbed.

Strength of soln (%)	Time of absorption	Rate of nutrient to water absorbed (me / 1)				
		NO ₃ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
25%	day	4.3	1.3	2.4	2.2	1.0
	night	23.9	9.8	12.3	11.7	6.0
	whole day	5.8	1.9	3.2	2.9	1.4
50%	day	6.3	1.7	2.7	2.6	0.9
	night	26.2	15.1	8.6	10.3	3.6
	whole day	7.9	2.8	3.2	3.2	1.2
100%	day	6.8	2.1	3.6	2.9	1.0
	night	27.1	16.7	10.6	10.5	2.0
	whole day	8.6	3.2	4.2	4.6	0.7

夜間が4.5me/lで、夜間のリン濃縮率（施与濃度に対する吸収濃度の比）は9と高い値を示した。2.0me/l区のリン吸収濃度は、昼間が2.3me/lで3つの区の中では施与濃度にいちばん近い値であった。夜間の吸収濃度は9.2me/lと施与濃度よりもはるかに高かった。8me/l区の1日の平均吸収濃度は5.7me/lで、

施与濃度よりも低かった。しかし、夜間の吸収濃度は12.3me/lで施与濃度よりもなお高い値を示した。リンの夜間吸収率は0.5me/l区が52%，2.0me/l区が50%，8.0me/l区が43%で、培養液中のリン濃度が高いほど低かった（第1図）。

Table 3. Rate of uptake at night to that in whole day.

Strength of soln (%)	Rate of uptake at night to that in a whole day. (%)					
	Water	NO ₃ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
25%	8	31	39	29	30	32
50%	8	27	44	22	26	26
100%	8	27	42	20	24	8

Table 4. Rate of phosphate and water uptake by tomato plants during day and night cultured in different phosphate concentration in the culture solution.

P-conc. (me/l)	Time of absorption	Rate of uptake		Rate of phosphate to water absorbed (me/l)
		Water (l/100gD.W./4 days)	PO ₄ -P (me/100gD.W./4 days)	
0.5	day	4.51	4.8	1.1
	night	1.14	5.1	4.5
	whole day	5.65	9.9	1.8
2.0	day	4.06	9.1	2.3
	night	0.98	9.0	9.2
	whole day	5.04	17.1	3.6
8.0	day	3.93	16.0	4.1
	night	0.99	12.1	12.3
	whole day	4.92	28.1	5.7

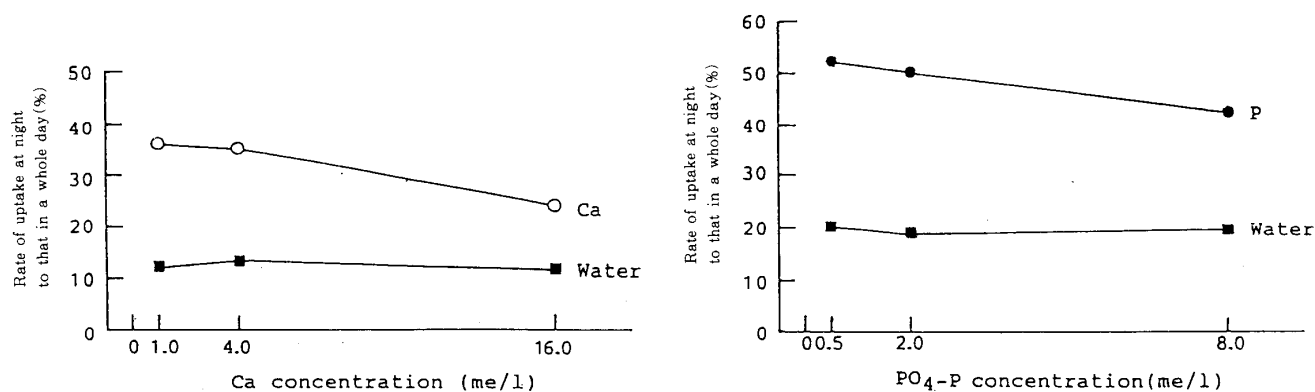


Fig. 1. Relationship between nutrient concentration in the culture solution and the rate of uptake during the night to that in a whole day.

水分とカルシウムの吸収量及び吸収濃度を第5表に示した。水分の吸収量は処理区の間で差がなかった。カルシウムの吸収量はカルシウム濃度が高いほど多かった。

カルシウムの1日平均の吸収濃度は、1 me/l区が3.5 me/l、4 me/l区が5.5 me/l、16 me/l区が8.4 me/lであった。濃縮率は、順に3.5、1.1、0.5とカルシウム濃度が高いほど低かった。16 me/l区では昼間の吸収濃度は施与濃度よりも低く、夜間の吸収

濃度は施与濃度よりも高かった。

夜間吸収率は、水分については3つの区の間で差はなかった。カルシウムの夜間吸収率はカルシウム濃度が高いほど低かった（第1図）。

実験3

水分及びリンの吸収量、夜間吸収率及びリン吸収濃度を第6表に示した。昼間の水分吸収量は3つの区の間で大きな差はなかった。しかし、夜間の水分吸収量はリンを単独で施与した区で少なかった。リン吸収量

Table 5. Rate of calcium and water uptake by tomato plants during day and night cultured in different Ca concentration in the culture solution.

Ca-conc. (me/l)	Time of absorption	Rate of uptake		Rate of Ca to water absorbed (me/l)
		Water (l/100g D.W./4 days)	Ca (me/100g D.W./4 days)	
1.0	day	5.23	13.1	2.5
	night	0.70	7.5	10.8
	whole day	5.93	20.6	3.5
4.0	day	4.96	20.3	4.1
	night	0.73	11.1	15.2
	whole day	5.69	31.4	5.5
16.0	day	5.17	37.0	7.2
	night	0.69	11.9	17.4
	whole day	5.85	48.9	8.4

Table 6. Rate of phosphate and water uptake by tomato plants cultured in various phosphate solutions.

Treatment	Time of absorption	Rate of uptake		Rate of phosphate to water absorbed (me/l)
		Water (l/100g D.W./4 days)	PO ₄ -P (me/100g D.W./4 days)	
NaH ₂ PO ₄ alone	day	7.19	16.4	2.3
	night	0.70 (9)*	11.9 (42)	17.0
	whole day	7.89	28.3	3.6
NH ₄ H ₂ PO ₄ alone	day	7.42	13.4	1.8
	night	0.76 (9)	8.1 (38)	10.7
	whole day	8.18	21.5	2.6
Enshi soln	day	7.22	19.2	2.7
	night	1.05 (9)	13.4 (41)	12.8
	whole day	8.27	32.6	3.9

*Rate of uptake at night to that in a whole day (%)

は昼間夜間ともリンを単独で施与した区で少なく、特にリン酸一アンモニウム溶液区でその傾向が顕著であった。この区では、リン吸収濃度の低下もリン酸一ナトリウム溶液区より大きかった。

水分の夜間吸収率は園試処方50%濃度液区が13%, リン酸一アンモニウム区とリン酸一ナトリウム区がともに9%と、リンを単独で施与した区で水分の夜間吸収率が低下した。リンの夜間吸収率は3つの区の間で大きな差はなかった。

実験4

培養液に塩化ナトリウムを添加した場合の昼夜間各々

の養水分吸収量を第7表に示した。塩化ナトリウム濃度が高くなるにつれ、水分、硝酸態窒素、カリウムそしてカルシウムの吸収量が減少し、その程度は硝酸態窒素においていちばん大きかった。さらに、硝酸態窒素では、塩化ナトリウム添加による吸収量の減少は、昼間よりも夜間において大きかった。しかし、リンの吸収量は培養液の塩化ナトリウム濃度2000ppmまででは影響を受けず、わずかに増加する傾向が認められた。第8表に養水分の夜間吸収率を示した。数値にやや変動があるものの、培養液に塩化ナトリウムが添加されることによって、養水分の夜間吸収率が低下した。

Table 7. Rate of nutrient and water uptake by tomato plants cultured in culture solution added with NaCl.

NaCl (ppm)	Time of absorption	Rate of uptake (water : 1 / 100g D.W. / 4 days) (nutrient : me / 100g D.W. / 4 days)					
		Water	NO ₃ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
0 ppm	day	4.59	54.2	17.2	42.7	15.5	6.8
	night	0.76	22.0	14.1	15.4	8.3	3.7
	whole day	5.35	76.2	31.3	58.1	23.8	10.5
1000 ppm	day	4.66	42.5	19.6	40.7	15.8	7.9
	night	0.68	12.7	14.3	12.2	7.8	3.4
	whole day	5.34	55.2	33.9	52.9	23.6	11.3
2000 ppm	day	4.29	36.5	19.5	34.7	14.2	7.6
	night	0.64	11.0	14.5	12.2	6.3	3.5
	whole day	4.93	47.5	34.0	46.9	20.5	11.1

Table 8. Rate of uptake at night to that in a whole day.

NaCl (ppm)	Rate of uptake at night to that in a whole day (%)					
	Water	NO ₃ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
0 ppm	14	29	45	27	35	36
1000 ppm	13	23	42	23	33	30
2000 ppm	13	23	43	26	31	32

実験 5

第9表に培養液を循環した場合の水分及びリンの吸収量を示した。培養液の循環、つまり培養液流動の効果が水分以上にリン吸収において大きかった。液が流動していない場合に比べ、リンの吸収量は真昼で35%、真夜中で33%、吸収量の増加が認められた。

実験 6

培養液に硝酸カリウムおよび硝酸カルシウムが共存

する場合の、リンの昼夜間吸収量及び夜間吸収率を第10表に示した。リンの吸収量はリン酸アンモニウム溶液に比べ硝酸塩を添加することによって増加し、その効果は硝酸カルシウムにおいて顕著であった。しかし、リン、水分ともに夜間吸収率が一定であることから、多価陽イオンの影響は、リンの吸収に対して昼間と夜間との間で差がなかった。

Table 9. Rate of phosphate and water uptake by tomato plants cultured in circulated culture solution.

Treatment	Time of measurement	Rate of uptake	
		Water (1/100gD.W./6 hr)	PO ₄ -P (me/100gD.W./6 hr)
Non-circulation	midday*	1.37 (100)	2.3 (100)
	midnight	0.11 (100)	1.5 (100)
Circulation	midday	1.45 (106)	3.1 (135)
	midnight	0.13 (118)	2.0 (133)

※ midday (9 am to 3 pm), midnight (9 pm to 3 am)

() : Relative values to non-circulation.

Table 10. Rate of phosphate and water uptake by tomato plants cultured in phosphate solution with KNO₃ or Ca(NO₃)₂.

Treatment	Time of absorption	Rate of uptake		Rate of phosphate to water absorbed (me/1)
		water (1/100gD.W./4 days)	PO ₄ -P (me/100gD.W./4 days)	
NH ₄ H ₂ PO ₄	day	4.51	4.8	1.1
	night	1.14 (7)*	5.1 (40)	4.5
	whole day	5.65	9.9	1.8
+KNO ₃	day	4.06	9.1	2.3
	night	0.98 (7)	9.0 (39)	9.2
	whole day	5.04	17.1	3.0
+Ca (NO ₃) ₂	day	3.93	16.0	4.1
	night	0.99 (7)	12.1 (38)	12.3
	whole day	4.92	28.1	5.7

※ Rate of uptake at night to that in a whole day (%)

考 察

水分の吸収量は培養液濃度が高いほど少なく、水分の吸収に対する培養液濃度の影響が認められた。これは培養液濃度が高くなるにつれ培養液の浸透ポテンシャルが低下し、水分の吸収量が阻害されるためである。しかし、水分の夜間吸収率は培養液濃度の違いに関わらず8%と一定しており、培養液濃度の上昇による水分吸収に及ぼす水ストレスの影響が昼間あるいは夜間どちらかに偏って強く起こることはなかった。それ故に、実験1で認められた養分の夜間吸収率の変化は水分の吸収量の変化に影響されたものではなく、培養液濃度による直接的な影響を受けたものである。

50%濃度液区、100%濃度液区の養水分吸収量を培養液濃度のいちばん低い25%濃度液区の養水分吸収量を100とした相対値で表したものが第11表である。リンの相対吸収量は、50%濃度液区は昼間が126、夜間が157、100%濃度液区は昼間が151、夜間が172である。このように、培養液濃度の上昇にともなうリン吸収量の増加程度は昼間よりも夜間の方が大きい。それとは逆に、硝酸態窒素の場合は50%濃度液区は昼間が138、夜間が112、100%濃度液区は昼間が133、夜間が108で、夜間よりも昼間の方が窒素吸収量の増加程度が大きかった。カリウム、カルシウムでは培養液濃度が高くなると昼間の吸収量は増加するが、夜間の吸収量は反対に減少している。培養液濃度の上昇に対応する養分の昼夜間吸収量の変化には以上述べた3つの型が存在する

ことがわかる。

リン以外の養分で培養液の濃度が高くなると昼間の吸収量が増加しやすいのは、昼間は夜間に比べこれらの養分の吸収が培養液濃度に左右されやすいことに原因すると考えられる。そのなかで、カリウム、カルシウムでは50%濃度液、100%濃度液が25%濃度液に比べ昼間の吸収こそ多いが、夜間の吸収はむしろ少なかった。1日全体の吸収量を測定しているだけでは、培養液濃度の上昇にともなう各養分の吸収特性の変化を見いだすには充分ではない。夜間の吸収量が1日全体の吸収量に占める割合は決して少なくなく、培養液濃度の高い状態での夜間吸収の抑制傾向は、単に吸収量の多少によって培養液の施肥管理を図ろうとする考え方に疑問を投げかけるものである。水耕栽培において培養液濃度が高い場合に、カルシウムの吸収抑制に原因する、とりわけ夜間の吸収に起因すると考えられる尻腐れ果（橘，1988）等の生理障害が多発するのは、吸収の抑制が夜間の吸収に対して偏って強く起こることと関連があると思われる。

均衡培養液である園試処方培養液の性質として、以上の実験結果から次の点を指摘することができる。実際に使用されている濃度の範囲においても、濃度が高くなるにしたがい、吸収されやすい養分と吸収されにくい養分に二分されることである。培養液濃度が高くなるにしたがい硝酸態窒素とリンの吸収量は増加し、他の養分は増加が鈍る。硝酸態窒素とリン以外の養分では、すでに吸収の抑制が働き始めていることを夜間

Table11. Relative value of water and nutrient uptake.

Strength of soln (%)	Time of absorption	Relative uptake					
		Water	NO ₃ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg
25%	day	100	100	100	100	100	100
	night	100	100	100	100	100	100
	whole day	100	100	100	100	100	100
50%	day	95	138	126	105	114	85
	night	102	112	157	71	89	62
	whole day	95	130	138	95	107	78
100%	day	86	133	151	138	127	92
	night	94	108	172	86	89	17
	whole day	86	125	160	123	116	68

の吸収量の減少が示している。園試処方培養液では濃度を高くしても、各養分に等しく吸収量の増加を期待することができない。硝酸態窒素とリンの吸収量が偏って増加する。結果的には陽イオンの相対的な欠乏、あるいは硝酸態窒素やリンの過剰吸収による過度の栄養生長を招いていると思われる。

根が昼夜とも高濃度の培養液に浸かっている状態では、養分吸収量の増加程度の大きさから判断して、園試処方培養液ではリンは硝酸態窒素、リン、カリウム、カルシウム、マグネシウム5つの養分の中でいちばん高濃度域での吸収が行われやすい性質を有している。このことは高濃度の培養液で栽培した場合に、茎葉の生長が旺盛であったり、異常茎を発生させたり、極端な果実の肥大を促したりする等、種々の生理障害の発生を促す原因になっていると考えられる。これらのことより、このような生育障害の発生を軽減させる意味においても、現在広く使用されている培養液の硝酸態窒素やリン濃度を低くする方向で再検討する必要がある。

リン濃度が8 me/l, 2 me/l, 0.5 me/lと濃度が低くなるほど、リンの夜間吸収率は順に43%, 50%, 52%と高くなった。リン濃度0.5 me/lと2 me/lとの間では夜間吸収率にほとんど差はなかったが、リン濃度が8 me/lと極端に高い培養液では夜間吸収率の低下が大きかった。この傾向はカルシウムの場合においてもまったく同様であった。昼間は水分の吸収が多く、各養分の吸収量が養分濃度に左右されやすいので、リン濃度が低い場合には吸収量の減少が生じやすくなる。リン低濃度の培養液から最大限のリンを吸収するためには、水の吸収、蒸散流に頼らない能動的な代謝依存性の強い吸収機構を働かせねばならない。そのためには夜間の吸収を促すことが必要であり、これがリン低濃度条件下での夜間吸収率が上昇する理由になっていると考えられる。このことは、一般に水分の吸収に左右されやすいカルシウムにおいても例外ではない。

リン濃度8 me/lの区では、1日の平均吸収濃度は5.7 me/lで施与濃度よりも低かった。園試処方50%濃度液を使用して養水分の昼夜間吸収を測定した寺林ら(1984)の一連の実験ではリンの夜間吸収濃度は10 me/l前後の高い値を示していた。しかし、このような高い濃度で施与した本実験では、昼間の吸収濃度4.1 me/lで施与濃度の半分になった。それでも夜間は12.3 me/lと施与濃度よりも吸収濃度が高かった。リン2 me/l区と比較すると、リン8 me/l区の昼間のリン吸収量は75%増加しているのに対し、夜間のそれは34%と低い。リン濃度の高い培養液で水耕栽培されたトマトが、昼間の吸収濃度を50%減じても吸収量の増加程度が夜間よりも大きいことは、いかに昼間の

培養液の施与濃度が吸収量に対して大きな影響を及ぼしているかがわかる。リン濃度の高い区で夜間吸収率が低くなるのは、昼間の吸収量の増加が培養液濃度に影響されて増加してしまうことと、夜間の吸収量の増加が鈍ることによっていると思われる。

カルシウム濃度を1 me/lから16 me/lに16倍高くしても、夜間の吸収量の増加程度はわずか1.6倍であった。昼間の吸収量の増加程度は2.8倍で、夜間の方が昼間より養分濃度の増加にともなう吸収量の増加程度が小さい。また、16 me/l区と4 me/l区の夜間カルシウム吸収量を比較すると、施与濃度の増加にともなう吸収量の増加が極めて少ないことがわかる。これは、トマトの水耕栽培において培養液内のカルシウム濃度を高くしても夜間の吸収量を高めることが難しいことを意味している。

リンの吸収は完全培養液に比べ、リン単独の溶液で少ないことが知られている(高橋ら, 1955)。園試処方で使用されているリン酸塩は、リン酸一アンモニウムで、これを単独で施与した場合にも明らかにリン吸収量の減少を起こすことから、他の養分がこの塩の吸収を助けていることは明らかである。しかし、単独施与された時の夜間吸収率には大きな差は認められないので、特にリンが園試処方培養液でリンを除く他の養分によって受ける影響が昼間と夜間で差異があるとは思えない。単独施与された場合の水の夜間吸収率は完全培養液に比べ低くなったのに対し、リンの夜間吸収率が受けた影響が小さかったことから、リンの昼間と夜間の吸収量の相互の関係は水分の吸収並びに他の養分の共存には左右されにくいものと考えられる。

園試処方培養液の25%濃度、50%濃度、100%濃度の間では、培養液濃度の上昇にともない各養分の吸収量が増加し、なかでもリンの増加程度がいちばん大きかった。並木ら(1973)は培養液濃度を一定範囲内での変動をゆるしてトマトの水耕栽培を行った。その結果、園試処方の50%濃度液と100%濃度液では吸収した養分はリンのみ100%濃度液が50%濃度液より多く、本実験の結果と一致している。リンが培養液濃度上昇にともなう吸収の増加が昼間よりも夜間の方が大きいことは他の養分とは異なっている。リン以外の養分では100%濃度液で昼間の吸収量が増加しているにもかかわらず、夜間の吸収量は減少している。このことは、これらの養分はリンに比べ、少なくとも夜間の高濃度培養液による吸収阻害の影響を強く受けるものと思われる。

培養液全体の濃度を低くした時には、リンの夜間吸収率はわずかに低い値を示し、リン濃度のみ低下させた場合には、薄い方が夜間吸収率は高くなった。培養液全体の濃度を低くした場合とリン濃度だけ低くした

場合に、リン夜間吸収率になぜこのような違いが生じるのか。カルシウムとリンで行った2つの実験の結果から、特定養分のみ濃度を低くした場合にはその養分の夜間吸収率は上昇すると思われる。しかし、全体の培養液濃度を低下させた場合には、いずれの養分においても薄い培養液から養分を積極的に吸収しようとする作用が働き、吸収における拮抗作用がより強く現れるのではないかと考えられる。圃試処方25%濃度液で硝酸態窒素、カリウム、カルシウム、マグネシウムの夜間吸収率がすべて高くなっており、リンの吸収が他の養分の夜間吸収に影響されたものと考えられる。特にリンの吸収と拮抗しやすい硝酸態窒素の吸収の影響が大きいと考えられる。寺林ら(1987)は窒素飢餓状態のトマト植物体が硝酸態窒素を盛んに吸収している際、リンの夜間吸収率が低下することを認めている。

リンを単独で与えた場合には吸収量の減少が認められる。これはリンの吸収にとって他の養分の共存が必要であることを示している。ただし、夜間吸収率のわずかな低下をみたが、昼間の吸収と夜間の吸収を大幅に変えるようなことはなく、しかもその影響が昼間と夜間で異なるということもない。実験の1, 2, 3の結果から判断すると、水分の夜間吸収率が低い時では8%, 高い時で20%と大きな差があるにも関わらず、リンの夜間吸収率は40~50%の限られた範囲の中にある。通常の栽培条件下ではリン以外のイオンや培養液濃度等がリンの夜間吸収に及ぼす影響は小さいと考えられる。

培養液に高濃度の塩化ナトリウムを添加した実験では、硝酸態窒素を除き、養分の吸収量の変化の程度が小さく、昼夜間吸収に及ぼす塩類ストレスの影響は明瞭ではなかったが、概して塩化ナトリウム濃度の高い区で夜間吸収率が低くなる傾向が認められた。硝酸態窒素の吸収抑制がいちばん顕著に現れており、この場合の夜間吸収率の低下も明らかであった。少なくとも硝酸態窒素に関する限り、塩類ストレスの影響は昼間よりも夜間で大きいと思われる。塩類ストレスは根の呼吸活性を低下させる(Lambersら, 1981)といわれており、根の活性に強い影響を及ぼしている。それ故に吸収における代謝過程に依存する性質の強い硝酸態窒素やリンの吸収が、このようなストレス下で阻害されやすい。しかし、本実験では、硝酸態窒素の吸収は著しく阻害されたのに対し、リンの吸収は減少しなかった。処理期間が4日間と短期間であったことから、トマト植物体への代謝阻害による影響は少なく、培養液における塩化ナトリウムと硝酸態窒素及びリンとの拮抗作用の違いが現れたものと思われる。

リンは培養液に含まれる種々のイオン(多量要素)のなかでは特に硝酸態窒素の吸収と深い関係にある

といえよう。しかし、リンの吸収が培養液の水分ストレス、いわゆる高塩類障害によって昼夜間の吸収が偏って影響を受けることは極めて少ないといえよう。

土耕栽培では、根による養分の吸収と根圏付近の養分の拡散速度の低さによって、根の表面付近に養分濃度の低い層が形成される(Lewis・Quirk, 1967)。しかし、この現象は土耕栽培に限らず、水耕栽培の培養液管理においても問題とされなければならない。特に培養液の攪拌ないし流動が十分でなく、培養液が比較的長い時間静止していると、養分の吸収が阻害される。Haiら(1966)は低濃度のリン酸溶液を静止状態から毎時1800mlまでの速度で連続流動させてイネを水耕栽培し、流速が大きいほどリン酸の吸収が多くなることを示した。培養液の循環によって養分の吸収が促進される大きな原因は、ひとつにはこの低濃度層の破壊によって根表面付近の溶存酸素濃度及び養分濃度の低下を防ぐことにあると思われる。

この溶存酸素及び養分濃度の低い根表面付近の層が昼間と夜間でどちらがより強く形成されているか、またその影響が昼間と夜間でどちらが大きいかは知られていない。さらに、培養液の攪拌は根のフリースペースへの養分の侵入を助けたり、物理的な刺激あるいは根表面の老廃物や分泌物質を除去する等の効果がある。

昼間と夜間ともに培養液流動によって34%程度に吸収量が増加し、昼夜間の間で循環の效果に差がなかったことから、仮に根表面付近に溶存酸素ないし養分の低濃度層が形成されていたとしても、昼間と夜間でその影響が異なるとはいえない。

リン濃度に限定した場合、リンは夜間においては昼間に比べ高濃度で吸収されているため、低濃度層の形成が昼間よりも強く起こっていると考えられる。よって、夜間の培養液循環によるリン吸収の増加が昼間の培養液循環よりも大きくなるものと想像される。しかし、培養液循環によるリン吸収を促進させる効果の程度には昼と夜の間で差はなかった。この原因として、第1に圃試処方培養液のリン濃度がこのような低濃度層の形成が問題にはならないほどに高いことがあげられる。圃場の土壌溶液中のリン濃度に比べ培養液のリン濃度は、10倍ないし100倍の高い濃度を示すといわれている(加藤ら, 1985)。このようにリン濃度の高い培養液では根表面付近の低濃度層の形成が事実上問題になる場面は少なく、ここで認められた循環の影響はそれ以外の要因によるものと思われる。根への積極的な酸素供給が促された効果が大きいと思われる。この溶液の循環という操作によってリンの吸収が昼間夜間で差なく増加したことから、少なくともリン吸収に影響を及ぼす根表面付近の溶存酸素濃度、リン濃度が昼間にあるいは夜間に偏って影響を及ぼしているような

ことはないと思われる。

リンが多価のカルシウムやマグネシウム等の陽イオンによって、吸収が促進されることが知られている。Franklin (1969) はオオムギとトウモロコシの切断根が、多価陽イオンの溶液に一定時間置かれることによってリンの吸収が明らかに増加することを示した。このような多価陽イオンによるリン吸収促進作用は、陰イオンの根表面への接近及び置換作用に対して抑制的に働く根表面の負電荷を中和化することによるものと考えられ、その効果は多価の陽イオンであるほど大きくなる。本実験では硝酸カリウムに比べ硝酸カルシウムの方がリン吸収量を促進する効果が大きかった。しかし、その効果の程度に昼間と夜間との間で差がなく、リンの夜間吸収と多価の陽イオンとの関連は明らかではなかった。根表面の荷電状態が養分の吸収、とりわけ陰イオンの吸収に対して強い影響を及ぼしていると思われるが、本実験の結果に関する限り、この多価陽イオンがリンの吸収に対して昼間と夜間で影響の強さが異なることは認められなかった。実際の栽培条件下においては、リンの昼間と夜間吸収がこれらの多価陽イオンによる直接的な働きによって左右されている可能性は低いものと思われる。

引用文献

- 1) Franklin, R. E. (1969) : Plant Physiol., 44, 679-700.
- 2) Hai, T. V. and H. Laudelout (1966) : Soil Sci., 101, 408-417.
- 3) 加藤秀正・岡 紀邦・本島俊明 (1958) : 土肥誌, 56, 279-284.
- 4) Lambers, H., T. Blacquiere and B. (C. E. E.) Stuiver (1980) : Physiol. Plant., 51, 63-68.
- 5) Lewis, D. G. and Quirk, J. P. (1967) : Pl. Soil, 26, 445-453.
- 6) 並木隆和・西 新也・羽根田明子・高嶋四郎 (1973) : 京府大学報, 農学, 25, 17-24.
- 7) 橘 昌司 (1988) : 園学要旨春季, 288-289.
- 8) 高橋治助・柳沢宗男・河野通佳 (1955) : 農技研報告B 4, 12-15.
- 9) 寺林 敏・滝井 謙・並木隆和 (1984) : 園学要旨春季, 228-229.
- 10) ——・藤田真由美・並木隆和 (1987) : 園学要旨春季, 304-305.

summary

The aim of the present work has been to examine aspects of phosphate uptake during the day and the night under various conditions of culture solution.

Phosphate uptake increased as the total salt concentration was raised from 25% to 100% strength of Enshishoho culture solution.

Phosphate URN (rate of uptake at night to that in a whole day) was lowest with 25% strength of the solution and highest with 50% strength.

Phosphate URN decreased, when phosphate concentration only was raised. It was also the case with calcium uptake and calcium concentration in the culture solution.

Phosphate URN was not changed regardless of increase nor decrease in water or phosphate uptake, by feeding phosphate solution only, or addition of monovalent cations or NaCl to the culture solution.

The present work has made it clear that phosphate URN is influenced solely by phosphate concentration, and not by water or phosphate uptake under various conditions of the culture solution.